



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
University Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2008

---

## **Untersuchung der Effizienz des computergestützten Formschleifens von Inlays und Kronen aus ästhetischen Werkstoffen und deren Festigkeit**

Schrage, B U

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-5296>

Dissertation

Published Version

Originally published at:

Schrage, B U. Untersuchung der Effizienz des computergestützten Formschleifens von Inlays und Kronen aus ästhetischen Werkstoffen und deren Festigkeit. 2008, University of Zurich, Faculty of Medicine.

Universität Zürich  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Vorsteher: Dr. med. dent. S. Palla  
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. T. Attin

---

Arbeit unter der Leitung von Prof. Dr. med. dent. W. H. Mörmann  
und Dr. med. dent. A. Ender

# **Untersuchung der Effizienz des computergestützten Formschleifens von Inlays und Kronen aus ästhetischen Werkstoffen und deren Festigkeit**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität Zürich

vorgelegt von  
**Barbara Ulla Schrage**  
von Deutschland

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. T. Attin  
Zürich 2008

Meinen Eltern gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

|            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>1.</b>  | <b>Zusammenfassung</b>                                  | 6  |
| <b>2.</b>  | <b>Einleitung</b>                                       | 7  |
| 2.1        | Computergestütztes Formschleifen                        | 7  |
| 2.2        | Technische Kennzeichen der Formschleifgeräte            | 9  |
| 2.3        | Ästhetische Block-Keramik für die Formschleiftechnik    | 11 |
| 2.4        | Komposit Blockmaterial für die Formschleiftechnik       | 13 |
| 2.5        | Hypothesen  | 13 |
| 2.6        | Ziel der Untersuchung                                   | 14 |
| <b>3.</b>  | <b>Material und Methode</b>                             | 15 |
| 3.1        | Geräte und Testwerkstücke                               | 15 |
| 3.2        | Restaurationsmaterialien und Formschleifverfahren       | 16 |
| 3.3        | Schleifinstrumente                                      | 17 |
| 3.4        | Messung der Formschleifzeit                             | 18 |
| 3.5        | Erfassen der Standzeit                                  | 18 |
| 3.6        | Messung der Biegefestigkeit                             | 19 |
| 3.7        | Auswertung  | 20 |
| <b>4.</b>  | <b>Resultate</b>  | 21 |
| <b>4.1</b> | <b>Formschleifzeiten</b>                                | 21 |
| 4.1.1      | Vita Mark II Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL     | 21 |
| 4.1.2      | EmpressCAD Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL       | 22 |
| 4.1.3      | IPSe.maxCAD Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL      | 24 |
| 4.1.4      | Paradigm MZ100 Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL26 |    |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>4.2</b> | <b>Standzeit der Diamantinstrumente</b> | 27 |
| 4.2.1      | Cerec 3:Normal-Schleifmodus             | 28 |
| 4.2.2      | Cerec 3: Schnell-Schleifmodus           | 28 |
| 4.2.3      | MCXL: Normal-Schleifmodus               | 29 |
| 4.2.4      | MCXL: Schnell-Schleifmodus              | 30 |
| <b>4.3</b> | <b>Schleifmodus und Biegefestigkeit</b> | 31 |
| 4.3.1      | Vita Mark II Keramik                    | 31 |
| 4.3.2      | EmpressCAD Keramik                      | 32 |
| 4.3.3      | IPSe.maxCADcore Keramik                 | 33 |
| 4.3.4      | Paradigm Block-Komposit                 | 34 |
| <b>4.4</b> | <b>Materialtyp und Biegefestigkeit</b>  | 35 |
| <b>5.</b>  | <b>Diskussion</b>                       | 36 |
| 5.1        | Formschleifzeit                         | 36 |
| 5.2        | Biegefestigkeit                         | 40 |
| 5.3        | Schlussfolgerungen                      | 42 |
| <b>6.</b>  | <b>Literaturverzeichnis</b>             | 43 |
| <b>7.</b>  | <b>Curriculum Vitae</b>                 | 49 |

## 1. Zusammenfassung

**Ziel** der Untersuchung war es, ein dentales Formschleifgerät (Cerec MC XL) bezüglich der Schleifzeit pro Werkstück, der Standzeit der Instrumente und bezüglich des Einflusses von Normal- und Schnellschleifen auf die Festigkeit von Keramik und Komposit zu untersuchen.

**Material und Methode:** Eine Molarenkrone und ein modp-Inlay wurden repetitiv aus drei ästhetischen Keramiken (Vita Mark II, EmpressCAD, IPS e.maxCAD) und aus Block-Komposit (Paradigm MZ100) im Normal- und Schnellschleifmodus mit einem Cerec 3- (Kontrolle) und einem MCXL-Gerät formgeschliffen und die Schleif- und Standzeiten gemessen. Pro Material und Schleifmodus wurden je 15 Biegestäbe geschliffen und deren Festigkeit mit dem 3-Punkt-Biegebruchtest gemessen. Die Festigkeitswerte wurden statistisch nach der Nullhypothese ausgewertet. **Resultate:** Die Biegefestigkeit von Vita Mark II war beim MCXL-Normalschleifen signifikant ( $p < 0.01$ ) höher als bei Cerec 3, reduzierte sich aber beim MCXL-Schnellschleifen signifikant ( $p < 0.01$ ) auf die Biegefestigkeit beim Cerec 3-Normalschleifen. Ähnlich verhielt sich Paradigm MZ100. Die MCXL-Formschleifzeiten waren gegenüber Cerec 3 in beiden Schleifmodi bis zu ca. 50% verkürzt, wobei die Standzeiten der diamantierten Schleifinstrumente vor allem im Schnellschleifmodus deutlich geringer waren. **Schlussfolgerung:** Die beim MCXL-Normalschleifen von Vita Mark II um bis zu 50% verkürzte Schleifzeit bei gleichzeitig erhöhter Biegefestigkeit, wies eine bedeutende Effizienzsteigerung der Formschleiftechnik nach, welche aber mit einem höheren Instrumentenverschleiss verbunden war.

## **2. Einleitung**

### **2.1 Computer gestütztes Formschleifen**

Moderne Kariestherapie verlangt vom Zahnarzt die Fertigung einer dauerhaften und ästhetisch ansprechenden Restauration. Klinische Langzeituntersuchungen von Inlays über 15 und 18 Jahre zeigten, dass diese Forderung bereits mit der ersten Version der Cerec-CAD/CAM-Methode möglich war (Arnetz 2006, Reiss 2006). Das Cerec-CAD/CAM-System erlaubt die computerunterstützte Herstellung von keramischem Zahnersatz in einer Sitzung (Mörmann & Brandestini 1989, Mörmann 2006). In seiner heutigen Form bietet das System die Möglichkeit, auch weitere vollkeramische Restaurationen wie Onlays, Teilkronen, Veneers und Vollkronen im Front- und Seitenzahnbereich in einer einzigen Patientensitzung herzustellen (Mörmann & Bindl 2000). Klinische Untersuchungen der Qualität von Vollkronen mit einer Tragzeit von bis zu 12 Jahren zeigten, dass mit der Cerec CAD/CAM Methode gefertigte Dicor MGC, Mark I, Mark II, ProCAD und Paradigm MZ100 Kronen, sich bezüglich Abrasion, Attrition, Bruchanfälligkeit und Patientenzufriedenheit gleich verhielten wie traditionell hergestellte Keramikronen (Christensen et al. 2006). Sie gelten heute herstellungstechnisch und klinisch als echte Alternative zu konventionellen metallbasierten Restaurationen (Kern 2006).

Beim computergesteuerten Formschleifen von Restaurationen aus dentaler ästhetischer Blockkeramik stehen sich die Forderungen nach möglichst schädigungsfreiem Abtrag sowie hoher Oberflächen- und Kantenqualität einerseits und das Erfordernis genügender Schnelligkeit des

Formgebungsprozesses andererseits gegenüber (Furrer und Mörmann 1993, Thoma 2001, Kelly 2006).

Ein entscheidender Faktor beim Formschleifen ist die Korngrösse der Diamanten auf den diamantbelegten Bearbeitungsinstrumenten (Furrer & Mörmann, 1993). Durch die abtragende Bearbeitung mit diamantierten Werkzeugen entstehen an der Oberfläche der Keramik unvermeidbar maschinenbedingte Mikrorisse, die zum Ausgangspunkt von Frakturen werden können (Hahn & Löst 1991, Kelly 2006) und die die Festigkeit und Dauerhaftigkeit einer keramischen Restauration limitieren (Rekow & Thompson 2005). Das Cerec 1-Gerät arbeitete mit einer Schleifscheibe nur im Aussenformschliff (Mörmann & Bindl 1997, Mörmann 2006). Der bei der Cerec 2-Schleifeinheit hinzugefügte zylindrische Fingerschleifer erlaubte auch den Innenformschliff zur Herstellung von Teil- und Vollkronen (Mörmann & Bindl 1997, Mörmann & Schug 1997).

Bei der dritten Generation der Cerec-Geräte wurde die Schleifscheibe durch einen zweiten Fingerschleifer ersetzt und das Formschleifen in einem getrennten Gerät untergebracht (Mörmann & Bindl 2000). Die technische Weiterentwicklung des Cerec Systems war stets darauf ausgerichtet, das automatische Formschleifen nicht nur mit schonender, hoher Fertigungsqualität sondern auch möglichst schnell und wirtschaftlich zu gestalten. Die Cerec 3-Formschleiftechnik beseitigte die noch bei Cerec 2 bestehenden Einschränkungen der Formgebung von komplexen Restaurationswerkstücken (Thoma 2001).



## 2. 2 Technische Kennzeichen der Formschleifgeräte

In der vorliegenden Arbeit war das im Jahre 2007 präsentierte Cerec MCXL-Gerät (Sirona, Bensheim, Deutschland) in Bezug auf die Schleifzeit pro Werkstück und Material, die Auswirkung des Formschleifens auf die Festigkeit der verschiedenen Materialien sowie die Standzeit der Diamantschleifer zu untersuchen. Eine Auswahl von für die Formschleiftechnik relevanten Gerätedaten des Herstellers werden in der Tabelle I dargestellt.

**Tab. I** Auswahl schleiftechnischer Kennzeichen der Cerec 3 (Serie) und MCXL (Fertigungsmuster) Formschleifgeräte. Werksangaben des Herstellers (Sirona).

|   | Cerec 3   | MCXL   |
|---|---|--|
| Abmessungen (B x H x T) mm                        | 480 x 250 x 440   | 700 x 420 x 400                                |
| Gewicht   | 30 kg   | 43 kg  |
| Netzspannung                                      | 100 V–230 V   | 100 V–230 V                                    |
| Netzfrequenz                                      | 50/60 Hz  | 50/60 Hz                                       |
| Leistungsaufnahme                                 | 320 VA  | 320 VA   |
| Drehzahl  | 40.000 U/min  | 60.000 U/min                                   |
| Positioniergenauigkeit                            | Blockzustellung: 25 µm<br>Axial: 12,5 µm<br>Rotatorisch: 19,2–26 µm | 25 µm<br>Axial: 6,25 µm<br>Rotatorisch: 6,0 µm |
| Schleifreproduzierbarkeit                         | ±30 µm  | ± 25 µm  |
| Geräuschpegel                                     | 74 dbA  | 65 dbA   |
| Schleiferaufnahme                                 | Gewinde   | Halbautomatische Spannzange                    |
| Motoren   | 2   | 2  |
| Blockspannung                                     | Manuell   | Automatisch                                    |
| Wassertank  | 2 Liter   | 3 Liter  |
| Filtersystem                                      | Siebfilter  | Feinzellstofffilter                            |
| Filtersystem für Verarbeitung von Polymermaterial | Siebfilterbatterie (optional)                                       | Integriert                                     |

Die Cerec 3-Formschleifmaschine (Sirona) besteht aus einer 4-Achsen Zwillings-Schleifeinheit für die simultane Bearbeitung der Werkstücke mittels 2 Fingerschleifern, links einem Stufenschleifer und rechts einem Zylinder-Kegelschleifer. Das Steuerungsboard beinhaltet einen zur Steuerung von 6-Schrittmotoren Real Time Micro-Controller C167, weiter eine 2 DC-Motorsteuerung mit integrierter Drehzahl- und Stromregelung und eine RS 232 Schnittstelle mit 115 Baud.

Der Stufenschleifer, ein Diamantschleifer, genannt Step Bur 10, wird seit Verfügbarkeit der Software  $\geq V 2.80$  auf der linken Seite der Schleifeinheit eingespannt. Seine Schleiflänge beträgt 10.5 mm und er weist an den Stufen Durchmesser von 1.8 mm am Schaft, 1.4 mm in der Mitte und 1.0 mm am Arbeitsende auf. Er schleift die Innenseite der Restauration bzw. die Unterseite. Der Zylinder-Kegelschleifer, "Cylinder Pointed Bur" ist 8.7 mm lang, sein Kegelwinkel an der Spitze beträgt  $45^\circ$ . Der Cylinder Pointed Bur arbeitet die Oberflächenmorphologie der Restauration aus. Beide Schleifer bestehen aus gehärtetem Stahl und sind mit einer Diamantkorngroße von 64  $\mu\text{m}$  beschichtet. Beide Schleifinstrumente laufen simultan.

Die MCXL-Formschleiftechnik stammt in ihrem Grundaufbau von Cerec 3 ab. Auch hier wird das Werkstück von zwei Schleifinstrumenten gleichzeitig bearbeitet. MCXL ist eine 4-Achsenmaschine mit getriebefreien Schleifmotoren. Die Ansteuerung der Bewegungsachsen wird mit zwei- bis vierfach kleineren Schleifschritten als bei der Cerec 3-Schleifeinheit vollzogen. Das Einspannen der Materialblöcke erfolgt automatisch. Die Auf-

nahme der Schleifinstrumente erfolgt in halbautomatischen Spannzangen während in der Cerec 3-Schleifeinheit die Schleifer in ein Gewinde geschraubt werden.

### **2.3 Ästhetische Block-Keramik für die Formschleiftechnik**

Ästhetische CAD/CAM Blockkeramik deckt das Bedürfnis nach Biokompatibilität und imitiert ästhetisch in idealer Weise den natürlichen Zahn (Mörmann 2006). Ästhetische Cerec-Keramiken können, basierend auf ihrer Mikrostruktur, in zwei Gruppen eingeteilt werden: 1. Partikelgefüllte Glasmatrix-Keramik mit einem hohen Glasmatrixgehalt von ca. 50% und 2. Glaskeramik mit einem niedrigen Glasmatrixanteil von 30% oder weniger und mit hohem Partikel- bzw. Kristallanteil (Kelly 2006). Diese zwei Gruppen bestimmen grundsätzlich die Ästhetik und das Gefügebild, da sowohl die optischen wie auch die mechanischen Eigenschaften durch die Mikrostruktur bedingt sind (Kelly 2006). Hochglashaltige Keramiken gelten als ästhetische Keramiken, die als Matrix Aluminiumsilikatgläser aus Feldspat oder synthetische Gläser enthalten und als Füller hoch schmelzende Gläser wie z.B. Nephelin oder Albit bei Vita Mark II oder Leuzit bei EmpressCAD enthalten (Kelly 2006). Ihnen gegenüber stehen die Strukturkeramiken mit niedrigerem Matrixglasgehalt aus speziellen Silikatgläsern, z.B. Lithium-Disilikat bei IPSe.maxCAD.

CEREC-Vitablocs Mark I und Mark II waren die ersten industriell gesinterten Keramikblöcke, die für maschinell hergestellte dentale Werkstücke eingesetzt wurden (Datzmann 1996). Ihre Bruchfestigkeit beträgt 103-

123 MPa im Dreipunktbiegetest (Bindl et al. 2003). Die Biegefestigkeit von Keramikmaterialien wird beeinflusst durch die Art der Oberflächenbearbeitung und der dadurch erzeugten Oberflächenrauigkeit (Kelly et al. 1991, Hahn und Löst 1991). Allerdings wurden nach dem Formschleifen mit Schleifscheiben und Diamantkorngrossen von 126  $\mu\text{m}$  und 91  $\mu\text{m}$  weder bei Feldspatkeramik noch bei Glaskeramik erwähnenswerte Unterschiede in der Biegefestigkeit gemessen (Lüthy et al. 1991 a, b).

Ästhetische Keramiken wie z. B. Vita Mark II Keramik bestechen durch ihre guten physikalischen Eigenschaften (Datzmann 1996), die chemische und physikalische Ähnlichkeit mit dem natürlichen Schmelz (Krejci et al. 1994), die niedrige Plaqueakkumulations- und Blutungsrate (Bindl u. Mörmann 2004) und die gesamthaft hohe Biokompatibilität (Baumann et al. 1991). Im Labortest hatten ProCAD- bzw. EmpressCAD-Kronen gegenüber Vita Mark II-Kronen eine leicht höhere Festigkeit, die durch eine Glasur noch gesteigert wurde (Lampe et al. 1996). Glaskeramiken wie ProCAD bzw. EmpressCAD zeigten bei Standzeituntersuchungen eine längere Bearbeitungszeit und kürzere Standzeiten der Schleifinstrumente als die Feldspatkeramik Vita Mark II (Thoma 2001).

IPSe.maxCADblue-Blöcke fallen durch ihre charakteristische blaue Färbung auf, die durch die Zusammensetzung der Glaskeramik bedingt ist (Kelly 2006). Die initialen Füller bei IPSe.maxCADblue sind Meta-Silikate, die dem Material eine biaxiale Biegefestigkeit von 130 MPa verleihen und eine gute Bearbeitbarkeit in Formschleifmaschinen erlauben (Bindl et al. 2003, Bindl & Mörmann 2007). Während des Kristallisationsbrandes des

formgeschliffenen Werkstückes wachsen die Meta-Silikate zu Lithium-Disilikat-Kristallen heran und verleihen der Keramik die optischen Eigenschaften einer ästhetischen Keramik (IPSe.maxCADcore) mit einer Festigkeit im Bereich von 263-360 MPa (Bindl et al. 2003). Die Form der Lithium-Disilikat-Kristalle nach der Keramisierung, die Vergrößerung und die gleichmässige Verteilung erhöhen die Biegefestigkeit und Rissresistenz im Vergleich zu Leuzit-Glaskeramiken (Guazzato et al. 2004).

## **2.4 Komposit Blockmaterial für die Formschleiftechnik**

Paradigm MZ100 Cerec-Blöcke (3M Espe, Rüschlikon, Schweiz) sind aus dem Seitenzahnkomposit MZ100 polymerisierte Schleifrohlinge. Komposit besteht aus einer Matrix aus Methakrylaten wie BisGMA (Bisphenol A di-Glycidylmethacrylat) und TEGDMA (Tri-Ethylen-Glycol-Di-Methyl-Acrylat), die mit Mikrofüller-Partikeln aus Zirkonoxid bzw. Silikat angereichert sind.

## **2.5 Hypothesen**

In der vorliegenden Studie interessierte der Leistungsvergleich zwischen dem neuen Cerec-MCXL-Gerät und dem als Kontrolle mituntersuchten Cerec 3-Gerät in Bezug auf die Schleifzeit pro Werkstück, die Standzeit der Schleifinstrumente und die Biegefestigkeit der Blockmaterialien nach dem Formschleifen.

Bezüglich der Schleifleistung wurde aufgrund der im MCXL-Gerät realisierten neuen technischen Voraussetzungen von der Hypothese ausge-

gangen, dass bei MCXL kürzere Schleifzeiten realisiert würden, sich aber die Standzeit der Schleifinstrumente im MCXL-Gerät nicht von der Standzeit im Cerec 3-Gerät unterscheiden würde.

Die Biegefestigkeit von formgeschliffenen Testkörpern wurde untersucht, um eine eventuelle Schädigung des Restaurationsmaterials durch den neuen Schleifprozess zu erfassen. Aufgrund der im MCXL-Gerät realisierten neuen technischen Voraussetzungen wurde als Hypothese angenommen, dass sich die Biegefestigkeit der mit dem Cerec 3- und mit dem MCXL-Schleifprozess formgeschliffenen Probekörper trotz höherer Formschleifgeschwindigkeit nicht unterscheidet, was sich in der Bestätigung der Nullhypothese äussern würde.

## **2.6 Ziel der Untersuchung**

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung war es, ein dentales Formschleifgerät mit erhöhter Schleifleistung in Bezug auf die Schleifzeit und die Standzeit der Instrumente sowie den Einfluss unterschiedlicher Schleifgeschwindigkeiten auf die Festigkeit von keramischen Probekörpern zu untersuchen.

### **3. Material und Methode**

#### **3.1 Geräte und Testwerkstücke**

Für die Untersuchung kamen ein Cerec 3-Gerät (Sirona Typ D3329, Serien Nr. 14505 2005, Model Nr. 5884742 D 3329) mit der Cerec 3D Beta Software, Version 3.00 R2775 und ein Cerec MCXL-Gerät (MCXL) 14505 (Sirona, Typ D3439, Serien Nr. 00015 2006) als Fertigungsmuster bzw. Vorserienmodell mit der Software inLab 3D, Version 3.00 R2800 zum Einsatz. Zur Bestimmung der Instrumentenstandzeit wurden ein mesio-okklusodisto-palatinales (modp), ein vierflächiges Test-Inlay an einem extrahierten menschlichen ersten Oberkiefermolaren (Zahn 26) und eine Test-Molarenvollkrone an einem extrahierten menschlichen zweiten Oberkiefermolaren (Zahn 27) präpariert. Die Präparationen wurde mit der Cerec Mundkamera (Sirona, Cerec 3-Gerät No. 5811026, Serien Nr. 11550, Software Version 3.00 R2755 Beta) dreidimensional aufgenommen und das Test-Inlay und die Test-Krone im Modus 'Zahndatenbank' konstruiert. Beide Konstruktionen dienten zum repetitiven Formschleifen von Test-Inlays und Test-Kronen zur Ermittlung der Schleifzeiten und der Standzeiten der Instrumente sowohl im Cerec 3- als auch im MCXL-Gerät.

Weiter wurde ein in den oben genannten Softwareversionen vorhandener Schleifplan eines Testkörpers mit den Abmessungen 3 x 4 x 12 mm zum Formschleifen von Biegestäben verwendet. Diese dienten zur Messung der Biegefestigkeit. Beim Betrieb der Cerec 3- als auch der MCXL-Schleifeinheit wurde Dentatec (Sirona) Schleifmittelzusatz eingesetzt. Die Mengen betrugen 25 ml für Vita Mark II, IPSe.maxCADblue, Paradigm

MZ100 und 75 ml für EmpressCAD beim CEREC 3-Gerät und 100 ml bei der MCXL Schleifeinheit für alle vier Materialien. Der Wasserwechsel wurde vorgenommen, wenn es das Gerät anzeigte. Alle drei Werkstücke, Test-Inlay, Test-Krone und Biegestäbe wurden sowohl im Normalschleifmodus als auch im Schnellschleifmodus (Blockzustellung 50 µm an Stelle von 25 µm) formgeschliffen. Die Biegestäbe aus IPSe.maxCADblue wurden vor dem Biegetest im Brennofen Programat P200 mit der Seriennummer 400163 (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) mit der Software Version V2.1 kristallisiert.

### **3.2 Restaurationsmaterialien und Formschleifverfahren**

Die Werkstücke wurden unter Verwendung der Standard-Blockgrösse I12 mit den Massen 15 x 12 x 10 mm aus 3 verschiedenen Restaurationsmaterialien geschliffen:

- Mark II-Keramik, Vitablocs for CEREC/inLab 2M2C I12 (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland)
- EmpressCAD, (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
- IPSe.maxCAD (Ivoclar Vivadent)
- Paradigm MZ100 (3 M Espe, Rüschlikon, Schweiz)

Da die Software sowohl bei der MCXL- als auch bei der Cerec 3-Maschine die Blockgrösse I12 bei Paradigm MZ100 nicht erkennen konnte, bzw. es zu Problemen beim Abstich kam, wurden Werkstücke mit der Blockgrösse C14 mit einem Durchmesser von 14 mm verwendet.



**Tab. II** Versuchsanordnung zur Ermittlung der Standzeiten der Schleifinstrumente ( $n = x$ ) bei Anwendung von vier Formschleifverfahren und vier Materialien für die Fertigung von Inlays und Kronen. Anzahl ( $n = 15$ ) Biegestäbe pro Formschleifverfahren und Restaurationsmaterial.

| Formschleif-Verfahren | Werkstücke | Restaurationsmaterialien |             |              |          |
|-----------------------|------------|--------------------------|-------------|--------------|----------|
|                       |            | Mark II                  | Empress CAD | IPSe.max CAD | Paradigm |
| CEREC 3 normal        | Inlays     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Kronen     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Biegestäbe | $n = 15$                 | $n = 15$    | $n = 15$     | $n = 15$ |
| CEREC 3 schnell       | Inlays     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Kronen     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Biegestäbe | $n = 15$                 | $n = 15$    | $n = 15$     | $n = 15$ |
| MCXL normal           | Inlays     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Kronen     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Biegestäbe | $n = 15$                 | $n = 15$    | $n = 15$     | $n = 15$ |
| MCXL schnell          | Inlays     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Kronen     | $n = x$                  | $n = x$     | $n = x$      | $n = x$  |
|                       | Biegestäbe | $n = 15$                 | $n = 15$    | $n = 15$     | $n = 15$ |

### 3.3 Schleifinstrumente

Für jede Formschleifserie einer Werkstückform wurden zur Ermittlung der Standzeit jeweils ein neuer Zylinder-Kegelschleifer und ein neuer Stufenschleifer eingesetzt. Dies betraf das CEREC 3- und das MCXL-Gerät, sowohl im Normal- als auch im Schnellschleifmodus.

Zur Anwendung kamen die folgenden Schleifinstrumente

im CEREC 3-Gerät:

- Stufenschleifer 'Step Bur 10' REF 60 89 010
- Zylinder-Kegelschleifer 'Cylinder Pointed Bur' REF 5855734

und im MCXL-Gerät:

- Stufenschleifer 'Step Bur 10' REF M66264
- Zylinder-Kegelschleifer 'Cylinder Pointed Bur' REF K10794

### **3.4 Messung der Formschleifzeit**

Die Formschleifzeiten aller Werkstücke gemäss Tabelle II wurden registriert. Die von der MCXL-Software im internen Schleifprotokoll registrierten reinen Schleifzeiten wurden abgelesen und separat in eine Excel (Microsoft) Tabelle eingegeben. Die Formschleifzeit bei Cerec 3 wurde manuell mit einer Stoppuhr gemessen. Gemessen wurde die effektive Schleifzeit von dem Zeitpunkt, in dem die Schleifer mit dem Schleifprozess begannen bis zum Abstich des Werkstückes. Gezählt wurden nur jene Werkstücke, die vollständig geschliffen wurden. Unterbrach die Schleifmaschine den Schleifvorgang, bevor das Werkstück zu Ende geschliffen war, so wurde mit dem Wechsel der Schleifer auch ein neuer Schleifvorgang gestartet. Unvollendete Werkstücke wurden nicht berücksichtigt.

### **3.5 Erfassen der Standzeit**

Zur Ermittlung der Schleif- und Standzeiten diente das repetitive Schleifen eines Test-Inlays und einer Test-Krone sowohl auf dem CEREC 3- als auch auf dem MCXL-Gerät gemäss Tabelle II. Protokolliert wurde die Anzahl der pro Schleifinstrument geschliffenen Test-Inlays bzw. Test-Kronen. Die Standzeit eines Instrumentes war vollendet und das Schleifinstrument wurde ausgewechselt, wenn das Schleifsystem auf dem Monitor die Mel-

dung präsentierte: "The bur on the left/rigth side is defective. Please replace it and press Start to continue the milling. Press Stop to abort the milling process", oder wenn das Instrument brach.

Musste eines der beiden Instrumente eines Instrumentensatzes ausgewechselt werden, so wurde das zweite, noch schnittige Instrument belassen und weitere Formschleifdurchgänge ausgeführt. Die formgeschliffenen Werkstücke wurden so lange weitergezählt, bis das Gerät den Wechsel auch dieses zweiten Schleifinstrumentes verlangte oder das Instrument brach. Waren während der Standzeit des zweiten Schleifinstrumentes mehrere Wechsel des ersten Schleifinstrumentes nötig, so wurde dies festgehalten. Zur Bestimmung der Standzeiten wurde nach jedem Schleiferwechsel auch das Werkstück gewechselt. Gezählt wurden nur jene Werkstücke, die vollständig geschliffen waren.

### **3.6 Messung der Biegefestigkeit**

Die aus den Materialien Mark II, EmpressCAD, IPSe.maxCAD und Paradigm MZ100 im Schnell- und Normalmodus geschliffenen Biegestäbe wurden auf ihre Biegefestigkeit untersucht. Hierzu wurde ein 3-Punkt-Biegetest in der Universalprüfmaschine Zwick/Roell Z010 (Zwick, Ulm, Deutschland) durchgeführt. Die exakten Dimensionen der einzelnen Biegestäbe wurden zuvor mit einer Mikrometerschraube (Mitutoyo, Kawasaki, Kanagawa, Japan) bestimmt. Die Lagerung der Biegestäbe erfolgte auf zwei halbzylindrischen Stahlauflagen, wobei eine der beiden, zum Ausgleich von etwaigen Winkelfehlern, eine Bewegung um die Längsachse der

Auflage zuliess. Die Kraftübertragung erfolgte senkrecht zu den Auflagen mit Hilfe eines halbzylindrischen Stahlstempels. Die Biegestäbe wurden so positioniert, dass die Verbundstelle mittig zu liegen kam. Die Vorschubgeschwindigkeit betrug 1 mm/min ( $\pm 0.25$  mm), der Abstand der Auflageflächen 5 mm. Die Biegefestigkeit wurde direkt vom angeschlossenen Computer mittels der Software testXpert V11.02 errechnet.

### **3.7 Auswertung**

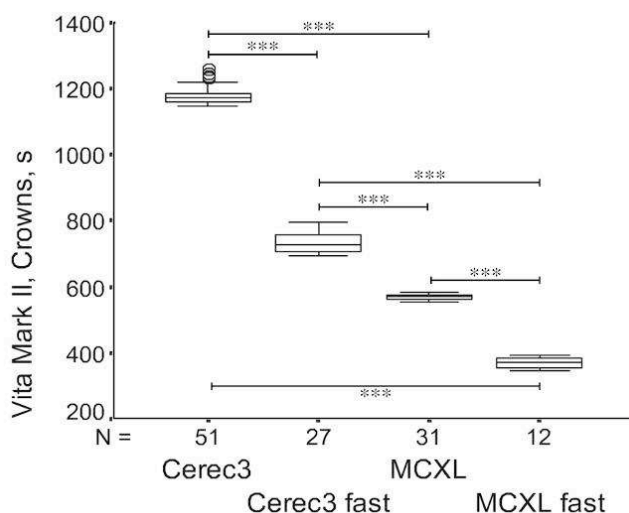
Die Statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 11 (SPSS Inc., Chicago IL, USA) vorgenommen. Unterschiede der Biegefestigkeitswerte und der Schleifzeiten wurden mit Einweg-Varianzanalyse und Scheffé Test auf Signifikanzen getestet. Das Konfidenzintervall betrug 95%. Die Darstellung erfolgte in Box-Plot Diagrammen. Die Standzeiten der Schleifinstrumente wurden tabellarisch erfasst und dargestellt.

## 4. Resultate

### 4.1 Formschleifzeiten

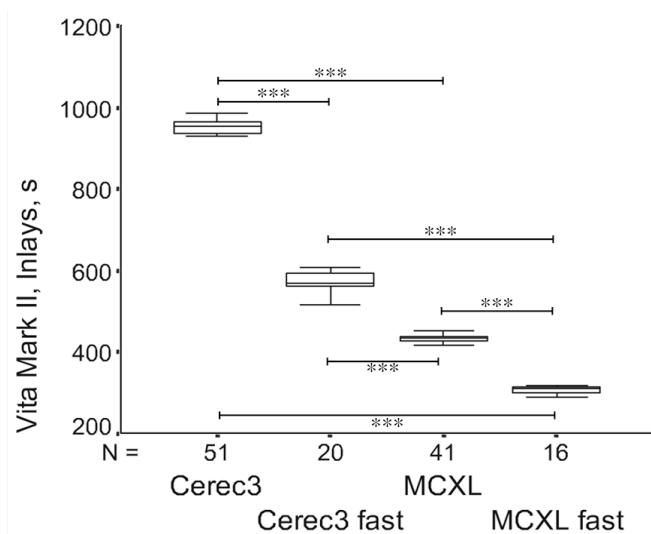
#### 4.1.1 Vita Mark II-Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL

Cerec 3 benötigte im Normalschleifmodus von Mark II-Kronen  $1179 \pm 26$  s. Mit der steigenden Anzahl von Werkstücken stieg die Formschleifzeit linear an, so dass Cerec 3 für die 51. Krone 105 s mehr Zeit in Anspruch nahm als für die erste. Für dieselbe Krone im Schnellschleifmodus benötigte Cerec 3 im Mittel  $732 \pm 30$  s (**Abb. 1**). Auch hier stieg die Zeit mit der Anzahl der Werkstücke linear an, bei der 27. Krone um 99 s. Der Mittelwert lag beim MCXL-Gerät bei  $568 \pm 7$  s im Normalschleifmodus mit einem zeitlichen Anstieg von 25 s bei 31 Werkstücken und  $371 \pm 16$  s im Schnellschleifmodus (**Abb.1**). Hier war der Zeitanstieg pro geschliffene Krone steiler; 45 s länger dauerte die Bearbeitungszeit nach 12 Werkstücken.



**Abb. 1** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **Vita Mark II Kronen** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=51), Cerec 3 fast (n=27), MCXL (n=31), MCXL fast (n=12).

Für Inlays im Normalschleifmodus brauchte die Cerec 3 im Mittel  $952 \pm 16$  s, die Schleifzeiten stiegen linear um 56 s an. Im Schnellschleifmodus betrug die mittlere Formschleifzeit  $574 \pm 22$  s mit einer zeitlichen Zunahme von 54 s, die linear verlief (**Abb. 2**). Mit dem MCXL-Gerät betrug die Zeit im Normalschleifmodus der Inlays  $433 \pm 7$  s, mit einem linearen Anstieg von 28 s, im Schnellschleifmodus waren es  $307 \pm 8$  s, mit linearen Anstieg der Schleifzeiten von 27 s. (**Abb. 2**)

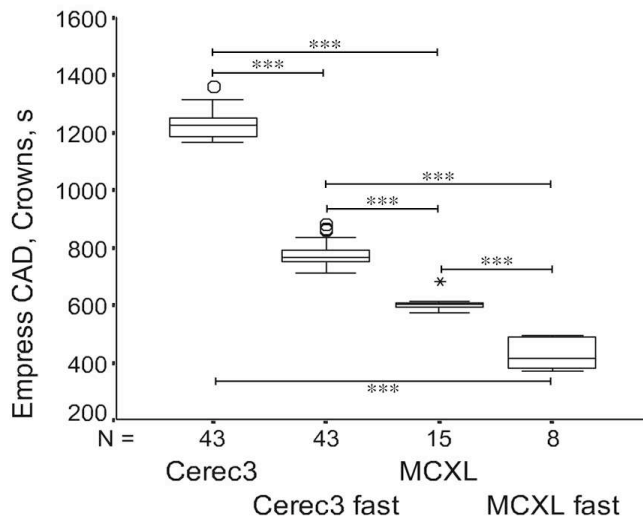


**Abb. 2** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **Vita Mark II-Inlays** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=51), Cerec 3 fast (n=20), MCXL (n=41), MCXL fast (n=16).

#### 4.1.2 EmpressCAD-Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL

Mit Cerec 3 dauerte die Schleifzeit von Kronen etwas länger als bei Mark II, im Mittel  $1226 \pm 43$  s im Normalschleifmodus und stieg linear um 189 s an. Die Bearbeitungszeit im Schnellschleifmodus betrug  $773 \pm 39$  s und stieg mit der Anzahl Werkstücke linear um 165 s an (**Abb. 3**). Mit dem MCXL-Gerät betrug die mittlere Normalschleifzeit einer EmpressCAD-

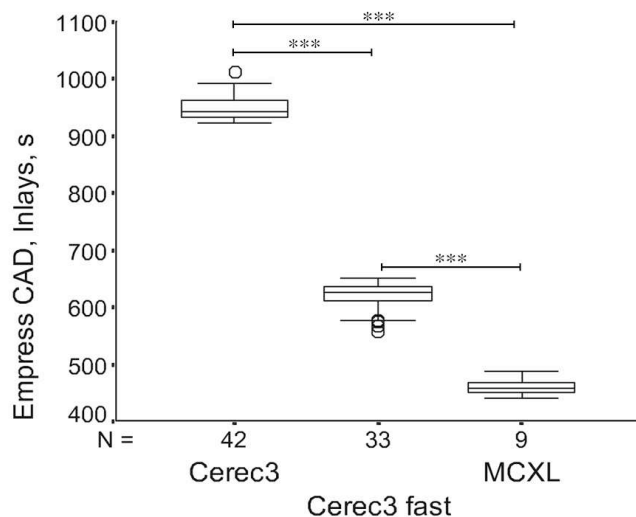
Krone  $602 \pm 24$  s (zeitlicher Anstieg 108 s). Im Schnellschleifmodus waren es  $428 \pm 54$  s (**Abb. 3**). Hier fiel die Zunahme der Schleifzeit mit jedem neu geschliffenen Werkstück auf; nach 8 Werkstücken benötigte die MCXL 125 s länger.



**Abb. 3** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **EmpressCAD-Kronen** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=43), Cerec 3 fast (n=43), MCXL (n=15), MCXL fast (n=8).

Für die Inlays dauerte mit Cerec 3 die Schleifzeit  $949 \pm 20$  s im Normalschleifmodus und  $617 \pm 26$  s im Schnellschleifmodus (**Abb. 4**). Bei beiden war ein linearer Anstieg der Schleifzeit im Verlauf der Serie zu erkennen und zwar im Normalschleifmodus um 86 s und im Schnellschleifmodus um 96 s. Das MCXL-Gerät war nur im Normalschleifmodus in der Lage, Inlays zu schleifen und benötigte dafür  $459 \pm 13$  s, mit zeitlich linearem Anstieg von 46 s (**Abb. 4**). Im Schnellschleifmodus war es trotz wiederholtem Schleiferwechsel, Reinigung der Schleifspanner und Neustart nicht möglich, ein Inlay zu Ende zu schleifen. Die Schleifinstrumente

wanderten aus ihrer Halterung und der Schleifprozess wurde jeweils von der Maschine abgebrochen.



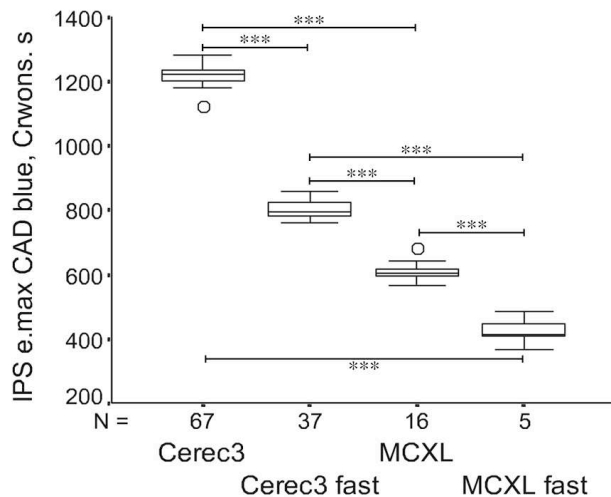
**Abb. 4** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **EmpressCAD-Inlays** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=42), Cerec 3 fast (n=33), MCXL (n=9), MCXL fast (n=0).

#### 4.1.3 IPSe.maxCADblue-Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL

Die Schleifzeiten von IPSe.maxCADblue Kronen mit Cerec 3 (**Abb. 5**) waren mit denen von EmpressCAD vergleichbar. Für die Kronen brauchte Cerec 3  $1220 \pm 27$  s im Normalschleifmodus und  $805 \pm 30$  s im Schnellschleifmodus. (Lineare zeitliche Zunahme normal 102 s, schnell 98 s)

Mit MCXL betrug die Schleifzeit für eine IPSe.maxCADblue-Krone im Normalschleifmodus  $611 \pm 26$  s mit einem zeitlichen Anstieg von 88 s und  $426 \pm 44$  s im Schnellschleifmodus, mit einem auffälligen Anstieg der Schleifzeit um 119 s nach 5 Werkstücken (**Abb. 5**).

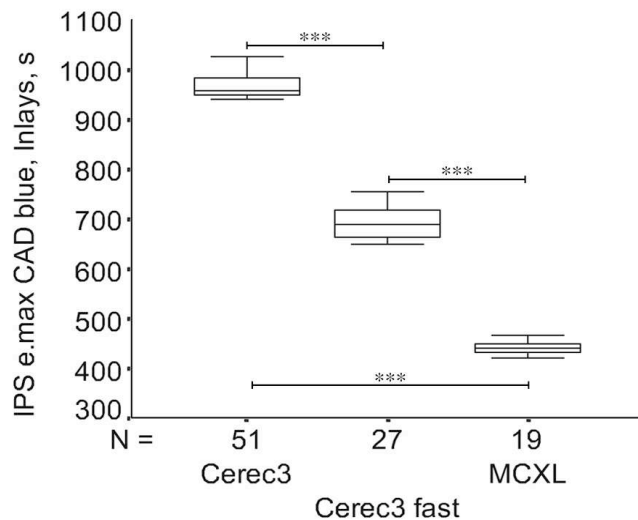




**Abb. 5** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **IPSe.maxCADblue-Kronen** mittlere Schleifzeiten (s), unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=67), Cerec 3 fast (n=37), MCXL (n=16), MCXL fast (n=5).

Inlays aus IPSe.maxCADblue wurden mit Cerec 3 in  $966 \pm 26$  s im Normal- und  $690 \pm 30$  s mit Schnellschleifmodus gefertigt (**Abb. 6**). Bei allen Werten war innerhalb einer Schleifserie ein linearer Zeitanstieg von 86 s im Normal- und 106 s im Schnellschleifmodus festzustellen.

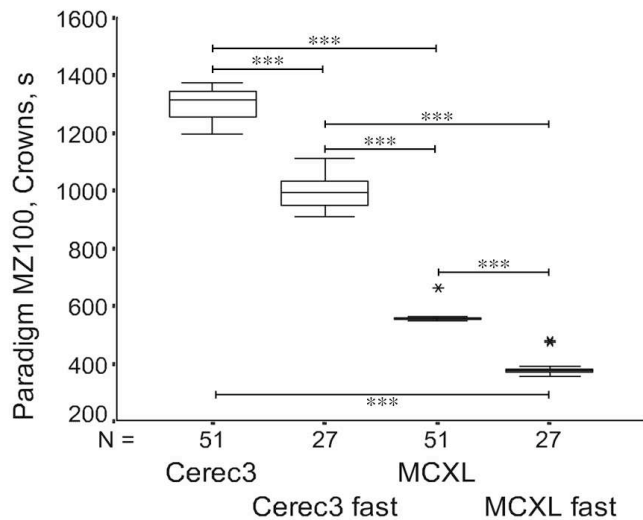
Mit MCXL wurde für die Inlays  $441 \pm 12$  s im Normalschleifmodus ermittelt, auch hier mit einer leichten Zunahme der Schleifzeit von 32 s im Verlauf einer Schleifserie. Im Schnellschleifmodus 'MCXL fast' konnten keine IPSe.maxCADblue-Inlays geschliffen werden, trotz mehrfachem Versuch und Wechsel der Schleifer (**Abb. 6**).



**Abb. 6** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **IPSe.maxCADblue-Inlays** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=51), Cerec 3 fast (n=27), MCXL (n=19), MCXL fast (n=0).

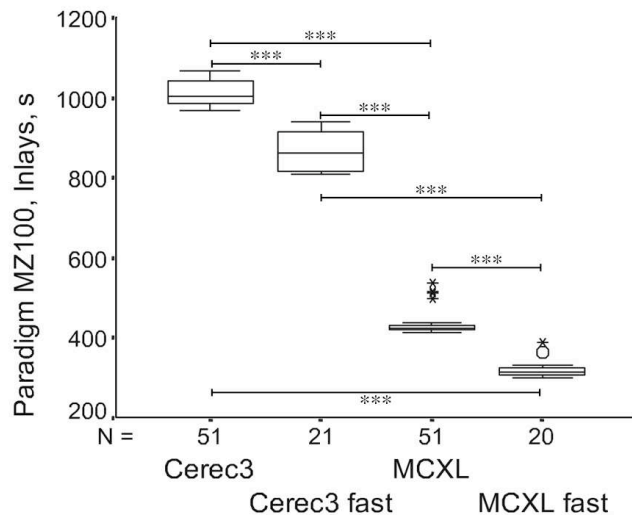
#### 4.1.4 Paradigm MZ100- Kronen und Inlays mit Cerec 3 und MCXL

Cerec 3 benötigte für Paradigm MZ100-Kronen  $1303 \pm 51$  s beim Normalschleifen und  $997 \pm 59$  s im Schnellmodus (**Abb. 7**). Bei Paradigm MZ100-Kronen stiegen die Schleifzeiten bei Cerec 3 kontinuierlich linear an; im Normalschleifen um 181 s und im Schnellschleifen um 131 s. Mit dem MCXL-Gerät betrugen die Schleifzeiten für Paradigm MZ100-Kronen  $557 \pm 15$  s im Normal- und  $382 \pm 27$  s im Schnellschleifmodus (**Abb. 7**), mit einem linearen zeitlichen Anstieg von 17 s im Normalschleifmodus und 118 s im Schnellschleifmodus.



**Abb. 7** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **Paradigm MZ 100-Kronen** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=51), Cerec 3 fast (n=27), MCXL (n=51), MCXL fast (n=27).

Beim Paradigm MZ100-Inlay dauerte der Schleifvorgang mit Cerec 3  $1013 \pm 30$  s im Normalschleifmodus mit einem linearen Zeitanstieg von 102 s und  $868 \pm 46$  s beim Schnellschleifmodus mit einem zeitlichen Anstieg von 131 s. Das MCXL-Gerät benötigte für ein Inlays  $432 \pm 24$  s bzw.  $320 \pm 21$  s (**Abb. 8**), mit zeitlichen Anstieg von 119 s im Normal- und 84 s im Schnellschleifmodus.



**Abb. 8** Box-Plot Darstellung der Schleifzeiten (s) zur Erstellung von **Paradigm MZ100-Inlays** unter Verwendung verschiedener Schleifmodi: Cerec 3 (n=51), Cerec 3 fast (n=21), MCXL (n=51), MCXL fast (n=20).

## 4.2 Standzeit der Diamantinstrumente

Die Standzeiten der Schleifinstrumente für Normal- und Schnellschleifen im Cerec 3-Gerät sind in **Tabelle III**, und die Standzeiten der Schleifinstrumente im MCXL-Gerät sind in **Tabelle IV** dargestellt.

### 4.2.1 Cerec 3: Normal-Schleifmodus

Aus **Tabelle III** kann abgelesen werden, dass im Normal-Schleifmodus aus Mark II-Keramik mit einem Instrumentensatz bis zum Standzeitende auch des zweiten Instrumentes total 51 Test-Kronen und 51 Test-Inlays, aus EmpressCAD 43 Test-Kronen und 42 Test-Inlays, aus IPSe.maxCADblue 67 Test-Kronen und 51 Test-Inlays und aus Paradigm MZ100 51 Test-Kronen und 51 Test-Inlays formgeschliffen wurden. In den meisten Fällen musste der 'Step Bur 10' als erster Schleifer ausgewechselt

werden. Bei Mark II-Keramik nach 27 Kronen und 50 Inlays, bei EmpressCAD nach 34 Kronen und bei IPSe.maxCADblue nach 27 und 47 Kronen und nach 14 modp Inlays. Bei EmpressCAD-Inlays musste nach 30 Werkstücken der 'Cylinder Pointed Bur' ausgewechselt werden. Bei Paradigm MZ100 kam es zu keinem Schleiferwechsel, da mit dem Material Paradigm MZ100 nur so lange Werkstücke formgeschliffen wurden, bis es zum Gleichstand mit Mark II kam.

#### 4.2.2 Cerec 3: Schnell-Schleifmodus

In **Tabelle III** wird ersichtlich, dass im Schnellschleifmodus aus Mark II-Keramik und Paradigm MZ100 jeweils total 27 klinische Kronen und 20 modp Inlays, aus EmpressCAD 43 Kronen und 33 Inlays, aus IPSe.maxCADblue 37 Kronen und 27 Inlays formgeschliffen wurden. Auch hier musste der 'Step Bur 10' als erster Schleifer ausgewechselt werden. Bei Mark II nach 7 und 25 Kronen und jeweils nach 14 und 16 Inlays, bei EmpressCAD nach 21 und 33 Kronen und nach 25 Inlays, bei IPSe.maxCADblue nach 15 Kronen und nochmals nach der 26. Krone und nach 10 und 21 Inlays. Bei Paradigm MZ100 mussten bis zum Gleichstand mit Vita Mark II bei Kronen keine Schleifer ersetzt werden.

**Tab. III** Anzahl der pro Instrumentensatz mit Cerec 3 formgeschliffenen Werkstücke. In Klammern Instrumentenwechsel nach (n) weiteren Schleifdurchgängen während der Standzeit des Zwillings-Schleifinstrumentes. N=Normalschleifen, S=Schnellschleifen.

\*Gleichstand Paradigm mit Mark II, fett= nicht ausgetauschter Schleifer

| <b>Cerec 3</b> | Anzahl formgeschliffener Werkstücke pro Instrumentensatz |           |                   |           |                 |            |                        |           |
|----------------|--|-----------|-------------------|-----------|-----------------|------------|------------------------|-----------|
|                | <b>Mark II</b>   |           | <b>EmpressCAD</b> |           | <b>Paradigm</b> |            | <b>IPSe.maxCADblue</b> |           |
| <b>Krone</b>   | N  | S         | N                 | S         | N               | S          | N                      | S         |
| Ptd Bur        | <b>51</b>  | 7 (18)    | <b>43</b>         | <b>43</b> | <b>51*</b>      | <b>27*</b> | <b>67</b>              | <b>37</b> |
| Step Bur       | 27   | <b>27</b> | 34                | 21 (12)   | <b>51*</b>      | <b>27*</b> | 27 (20)                | 15 (11)   |
| <b>Inlay</b>   |  |           |                   |           |                 |            |                        |           |
| Ptd Bur        | 50   | <b>20</b> | 30                | <b>33</b> | <b>51*</b>      | <b>20*</b> | <b>51</b>              | <b>27</b> |
| Step Bur       | <b>51</b>  | 14 (2)    | <b>42</b>         | 25        | <b>51*</b>      | <b>20*</b> | 14                     | 10 (11)   |

#### 4.2.3 MCXL: Normal-Schleifmodus

Mit Mark II-Keramik wurden total 31 Kronen und 41 Inlays, aus EmpressCAD 15 Kronen und 9 Inlays, aus IPSe.maxCADblue 16 Kronen und 19 Inlays und aus Paradigm MZ100 51 Kronen und 51 Inlays formgeschliffen. Hier musste als erster der 'Cylinder Pointed Bur', ausgewechselt werden. Bei Mark II nach 17 und 25 Kronen und 22 Inlays, bei EmpressCAD nach 8 Kronen und bei IPSe.maxCADblue nach 9 und 10 Kronen und 5 und nach 14 Inlays. Bei den EmpressCAD-Inlays musste nach 7 Werkstücken der 'StepBur 10' als erster ausgewechselt werden. Beim Beschleifen der Paradigm MZ100-Blöcke mussten bei Kronen bis zum Gleichstand mit Mark II keine Schleifer ersetzt werden, bei Inlays musste nach 48 Werkstücken der 'Cylinder Pointed Bur' gewechselt werden (**Tab. IV**).

**Tab. IV** Anzahl pro Instrumentensatz mit Cerec 3 formgeschliffener Werkstücke. In Klammern Instrumentenwechsel nach (n) weiteren Schleifdurchgängen während der Standzeit der Zwillingsschleifinstrumentes. N=Normalschleifen, S=Schnellschleifen, \*Gleichstand Paradigm mit Mark II, fett=nicht ausgetauschter Schleifer

| <b>MCXL</b>  | Anzahl formgeschliffener Werkstücke pro Instrumentensatz |           |                   |          |                 |            |                        |          |
|--------------|--|-----------|-------------------|----------|-----------------|------------|------------------------|----------|
|              | <b>Mark II</b>   |           | <b>EmpressCAD</b> |          | <b>Paradigm</b> |            | <b>IPSe.maxCADblue</b> |          |
| <b>Krone</b> | N  | S         | N                 | S        | N               | S          | N                      | S        |
| Ptd Bur      | 17(8)  | 10        | 8                 | <b>8</b> | <b>51*</b>      | 3(26)      | 9 (1)                  | 2        |
| Step Bur     | <b>31</b>  | <b>12</b> | <b>15</b>         | 5        | <b>51*</b>      | <b>27*</b> | <b>16</b>              | <b>5</b> |
| <b>Inlay</b> |  |           |                   |          |                 |            |                        |          |
| Ptd Bur      | 22   | 11(4)     | <b>9</b>          | 0        | 48              | <b>20*</b> | 5 (9)                  | 0        |
| Step Bur     | <b>41</b>  | <b>16</b> | 7                 | 0        | <b>51*</b>      | <b>20*</b> | <b>19</b>              | 0        |

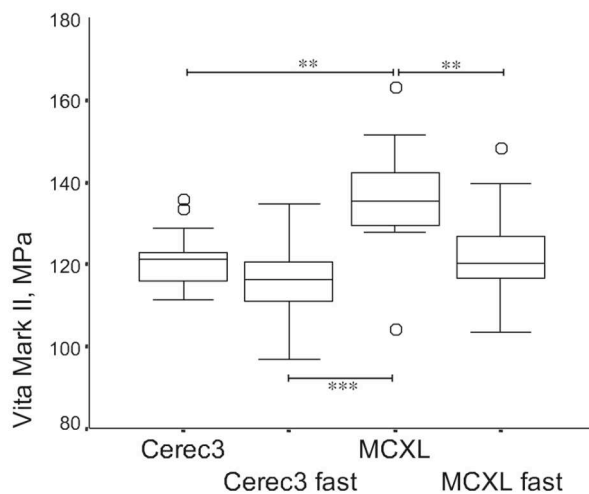
#### 4.2.4 MCXL: Schnell-Schleifmodus

In **Tabelle IV** sind die folgenden Resultate dargestellt: Aus Mark II wurden total 12 Kronen und 16 Inlays, aus EmpressCAD 9 Kronen und 0 Inlays, aus IPSe.maxCADblue 5 Kronen und 0 Inlays und aus Paradigm MZ100 27 Kronen und 20 Inlays formgeschliffen. Bei Mark II musste nach 10 Kronen, 11 und 15 Inlays, bei IPSe.maxCADblue nach 2 Kronen und bei Paradigm MZ100 nach 3 Kronen der 'Cylinder Pointed Bur' ersetzt werden. Bei EmpressCAD brach nach 5 Kronen der 'Step Bur 10'. Bei den Inlays aus EmpressCAD und IPSe.maxCADblue war es nicht möglich, ein Werkstück zu Ende zu schleifen.

## 4.3 Schleifmodus und Biegefestigkeit

### 4.3.1 Vita Mark II-Keramik

Bei Vita Mark II-Keramik lag die mittlere Biegefestigkeit nach dem Formschleifen mit dem Cerec 3-Gerät im Normalschleifmodus bei  $121.1 \pm 6.9$  MPa und war nach dem Formschleifen im MCXL-Normalschleifmodus mit  $136.2 \pm 13$  MPa signifikant ( $P < 0.01$ ) höher. Im Schnellschleifmodus wurden  $115.9 \pm 9$  MPa nach dem Formschleifen mit Cerec 3 und  $122.8 \pm 11$  MPa bei MCXL gemessen. Bei MCXL war der Unterschied zwischen Normal- und Schnellschleifmodus signifikant ( $p < 0.01$ ). Die Werte des Cerec 3 Schnellschleifmodus lagen hoch signifikant unter denen des MCXL Normalschleifmodus ( $p < 0.001$ ) (**Abb. 9**).

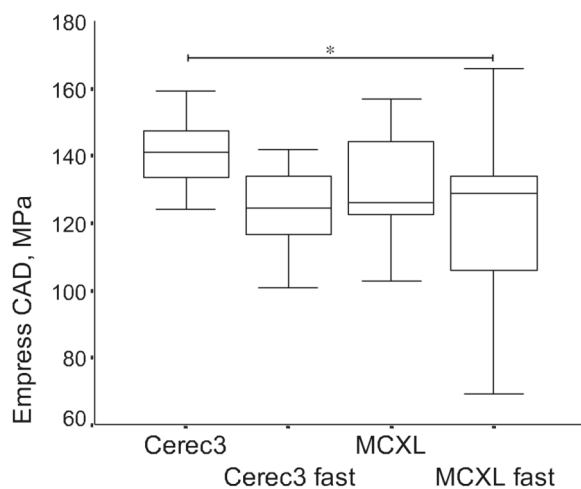


**Abb. 9** Box-Plot Darstellung der Biegefestigkeit (MPa) von Vita Mark II nach Formschleifen in Cerec 3 und MCXL im Normal- (Cerec 3/MCXL) und Schnell-Schleifmodus (Cerec 3/MCXL fast).



#### 4.3.2 EmpressCAD-Keramik

Cerec 3 lieferte im Normal-Schleifmodus höhere Werte als MCXL und zwar  $140.4 \pm 10.4$  MPa zu  $130.8 \pm 16.5$  MPa. Beim Schnellschleifen lagen die Werte zwischen  $124.3 \pm 11.9$  MPa und  $120.8 \pm 26.5$  MPa (**Abb. 10**). Der Unterschied zwischen Cerec 3 im Normalschleifmodus und MCXL im Schnellschleifmodus war signifikant ( $p < 0.05$ ).

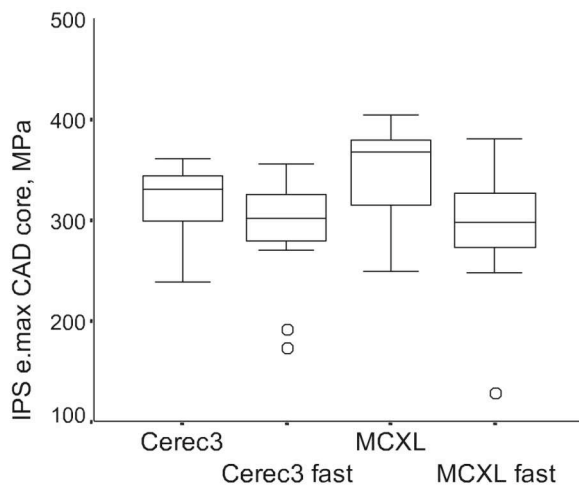


**Abb. 10** Box-Plot Darstellung der Biegefestigkeit (MPa) von EmpressCAD nach Cerec 3 und MCXL Formschleifen im Normal- (Cerec 3/MCXL) und Schnellmodus (Cerec 3/MCXL fast).

#### 4.3.3 IPSe.maxCADcore-Keramik

Die Biegefestigkeit von IPSe.maxCADcore bezieht sich auf die Messung nach dem Keramisierbrand der Biegestäbe, wodurch aus dem formgeschliffenen IPSe.maxCADblue die IPSe.maxCADcore Keramik mit hoher Biegefestigkeit entstand. Diese betrug nach Cerec 3 Formschleifen im Normalmodus  $322.9 \pm 33.1$  MPa und bei MCXL  $340.7 \pm 53$  MPa bzw. im

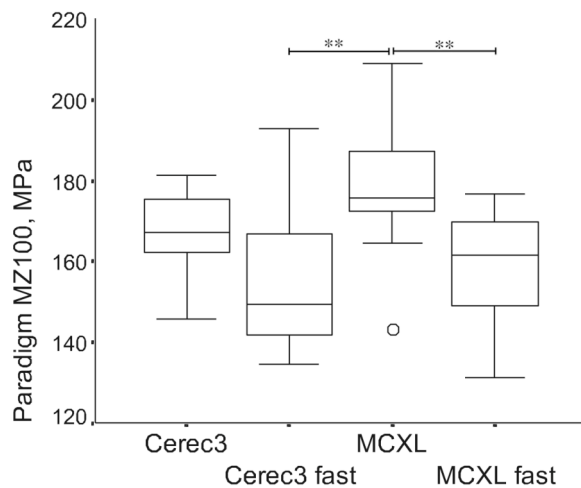
Schnellschleifmodus  $293 \pm 51.9$  MPa und  $294.5 \pm 59.1$  MPa, signifikante Unterschiede lagen nicht vor (**Abb. 11**).



**Abb. 11** Box-Plot Darstellung der Biegefestigkeit (MPa) von IPSe.maxCADcore nach Cerec 3 und MCXL Formschleifen des IPSe.maxCADblue im Normal- (Cerec 3/MCXL) und Schnellmodus (Cerec 3/MCXL fast).

#### 4.3.4 Paradigm MZ100 Block-Komposit

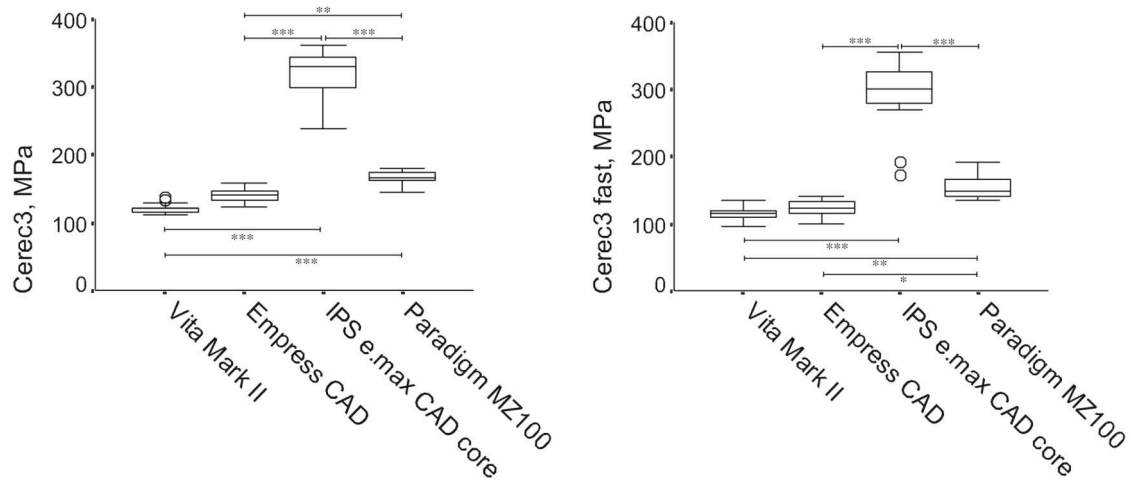
Paradigm MZ100 kam auf Werte von  $166.9 \pm 10.7$  MPa bei Cerec 3 und  $177.9 \pm 14.9$  MPa mit MCXL beim Normalschleifmodus und  $155.5 \pm 18.2$  MPa und  $157 \pm 15$  MPa beim Schnellschleifmodus (**Abb. 12**). Beim MCXL-Gerät unterschied sich die mittlere Biegefestigkeit zwischen Schnell- und Normalschleifmodus signifikant ( $p < 0.01$ ). Der Unterschied der mittleren Biegefestigkeit zwischen Cerec 3 im Schnellschleifmodus und MCXL im Normalschleifen war ebenfalls signifikant ( $p < 0.01$ ).



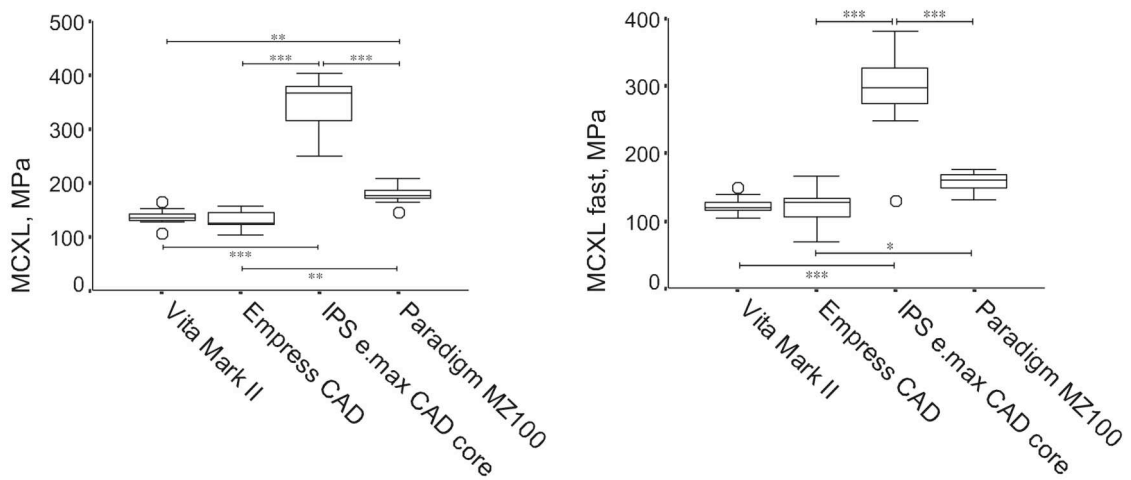
**Abb. 12** Box-Plot Darstellung der Biegefestigkeit (MPa) von Paradigm MZ100 nach Cerec 3 und MCXL Formschleifen im Normal-(Cerec 3/MCXL) und Schnellschleifmodus (Cerec 3/MCXL fast).

#### 4.4 Materialtyp und Biegefestigkeit

Beim Vergleich der Biegefestigkeit der formgeschliffenen Materialien ist zu berücksichtigen, dass die IPSe.maxCAD-Keramik im blauen Zustand bei geringerer Festigkeit formgeschliffen wurde und die Biegestäbe im Brennofen einem Keramisierbrand unterworfen wurden, der dem Material eine besondere Festigkeit als IPSe.maxCADcore verlieh.



**Abb. 13** Box-Plot Darstellungen der Biegefestigkeit (MPa) der Restaurationsmaterialien nach Cerec 3 Normal- und Schnell-Schleifmodus (Cerec 3, Cerec 3 fast).



**Abb. 14** Box-Plot Darstellungen der Biegefestigkeit (MPa) der Restaurationsmaterialien nach MCXL Normal- und Schnellschleifmodus (MCXL / MCXL fast).

## **5. Diskussion**

### **5.1 Formschleifzeit**

Bei der Anwendung der CAD/CAM Technik zur Herstellung keramischer Restaurationswerkstücke am Patientenstuhl ("chairside") bestimmt die Formschleifzeit die Wartezeit des Patienten bis das keramische Werkstück eingegliedert werden kann mit. Patienten bevorzugen eine kurze Behandlungsdauer, deshalb sollte der Herstellungsprozess möglichst schnell ablaufen (Morin 2006). Für die Integration des CAD/CAM Verfahrens in den Ablauf der Zahnarztpraxis ist die Dauer des Formschleifens ebenfalls von Bedeutung, weil sie im Wettbewerb mit der Herstellung der Restauration im zahntechnischen Labor oder in einem Schleifzentrum steht (Christensen 2006). Die Resultate zeigten, dass sowohl das von der Form her komplex gestaltete vierflächige Inlay als auch die Molarenkrone vom MCXL Gerät im Normal- und Schnellschleifmodus bis zu 50% signifikant schneller formgeschliffen wurde als vom Cerec 3 Gerät und bestätigten damit die eingangs formulierte Hypothese.

Allerdings waren die Standzeiten der Schleifinstrumente im MCXL-Gerät je nach Keramik und Instrumententyp zu 50% und darüber eindeutig verkürzt, womit die Hypothese diesbezüglich verworfen wurde. Im Vergleich zwischen Cerec 3 und MCXL betraf dies sowohl den Normal- wie auch den Schnellschleifmodus. Das MCXL-Fertigungsmuster-Gerät arbeitete im Normal- wie im Schnellschleifmodus mit 60'000 U/min, was gegenüber Cerec 3 (40'000 U/min) eine grundlegend höhere Beanspruchung der

Schleifinstrumente bedeutete und was sich bei allen Keramiken in generell drastisch verkürzten Standzeiten auswirkte, dies besonders extrem bei den Glaskeramiken EmpressCAD und IPSe.maxCADblue. Das Block-Komposit Paradigm MZ100 war von diesem Unterschied nur gering betroffen. Schleiftechnisch war es unter den Bedingungen der Untersuchung neben der Vita Mark II-Keramik in Bezug auf die hohe Umdrehungsgeschwindigkeit der Schleifinstrumente das am besten geeignete Material.

Die Standzeitunterschiede der Schleifinstrumente zwischen Feldspat- und Glaskeramik sind auf die unterschiedliche Materialstruktur zurückzuführen (Kelly et al. 1991, Thoma 2001). Die organische Matrix des Kompositmaterials dürfte eine geringere Abnutzung der Schnittigkeit des Diamantbelages bieten als die Glasmatrix der Keramiken.

Beide Geräte arbeiteten wahlweise im Normalschleifmodus mit der Zustellung von 25  $\mu\text{m}$  oder im Schnellschleifmodus mit der Zustellung von 50  $\mu\text{m}$  pro Schleifschritt. Die höhere Zustellungsrate hatte eine weitere Steigerung der Beanspruchung der Schleifinstrumente und zusätzlich verlängerter Standzeit zur Folge, was sich bei beiden Geräten am stärksten bei den Glaskeramiken EmpressCAD und IPSe.maxCADblue auswirkte und am geringsten beim Blockkomposit Paradigm MZ100. Zur erhöhten Standzeitreduktion der beiden Glaskeramiken trug im Schnellschleifmodus auch die komplexe Form des vierflächigen Inlays als zusätzlich erschwerender Faktor für den Formschleifprozess bei. Diese Tendenz zeigte sich bei beiden Schleifgeräten, akzentuierte sich aber bei MCXL. So konnten sowohl mit EmpressCAD als auch mit IPSe.maxCAD beim MCXL Schnellschleifen

kein einziges Test-Inlay fertiggeschliffen werden, während im Schnell-schleifmodus 14 bzw. 7 Kronen formgeschliffen wurden. Das Schleifproblem bei den Testinlays überraschte, weil die neue Ansteuerung der Bewegungsachse mit zwei- bis vierfach kleineren Schleifschritten erfolgte. Als Ursache wurde der okklusal spitze Winkel des lateralen Extensionsteiles eruiert, der eine zu hohe Belastung für die Schleifeinheit im Schnell-schleifmodus darstellte. Die Steuerung der Schleifsoftware wurde später für solche Konfigurationen angepasst.

Die deutliche Anhebung der Umdrehungszahl der Schleifinstrumente von 40'000 auf 60'000 U/min musste wegen der im Resultat starken Standzeitverminderung der Schleifinstrumente bei der Bearbeitung der Keramiken insbesondere der Glaskeramiken EmpressCAD und IPSe.maxCAD als nachteilig für den breiten Einsatz des MCXL Gerätes angesehen werden. Für das Seriengerät empfahl sich aus diesem Grunde eine Reduktion der Umdrehungszahl. Infolgedessen wurde beim Serien MCXL die Umdrehungszahl neu auf 42'000 U/min reduziert. Zur Optimierung der Standzeit beim Formschleifen der Glaskeramiken boten sich auch Optimierungen der Qualität der Diamantierung der Schleifinstrumente, der Spannzange zur sicheren Fixierung der Schleifinstrumente und Anpassungen der Schleifersteuerung an.

Beim repetitiven Formschleifen verhielten sich die Formschleifzeiten wie bei Thoma (2001) bei allen Werkstücken und Schleifmodi im Wesentlichen gleichbleibend linear. Ein leichter Anstieg der Formschleifzeit bei wiederholtem Schleifen trat bei MCXL im Schnell-Schleifmodus von Em-

pressCAD auf. Beim Schleiferwechsel war eine kurzfristige Reduktion der Schleifzeit zu beobachten, was mit der besseren Schnittigkeit des neu eingesetzten Schleifers zu erklären war.

## **5.2 Biegefestigkeit**

Kernfrage beim Formschleifen mit erhöhter Abtragsgeschwindigkeit im MCXL-Gerät war, ob die intensivere Bearbeitung mit erhöhter Drehzahl im Normal-Schleifmodus bzw. im Schnell-Schleifmodus mit erhöhter Drehzahl und erhöhter Zustellung, die Festigkeit des Materials schwächte. Alle Keramiken und auch das Blockkomposit reagierten auf das Schnell-Schleifen, sowohl im Cerec 3 als auch im MCXL-Gerät ohne Ausnahme materialspezifisch entweder mit signifikant oder tendenziell verminderter Biegefestigkeit. Der Schnell-Schleifmodus war demnach generell nicht nur mit geringeren Instrumentenstandzeiten sondern auch generell mit einem gewissen Festigkeitsverlust der Materialien verbunden.

Die eingangs entwickelte Hypothese, dass sich die Biegefestigkeit der mit Cerec 3 bzw. mit MCXL formgeschliffenen Probekörper trotz höherer Formschleifgeschwindigkeit nicht unterscheidet, musste anhand der Resultate materialspezifisch und bezogen auf den Schleifmodus beurteilt werden. So war die im MCXL-Normalschleifmodus formgeschliffene Vita Mark II-Keramik signifikant ( $p < 0.01$ ) fester als beim Schleifen mit dem Cerec 3-Normalschleifmodus, womit die Nullhypothese zugunsten von MCXL eindeutig verworfen wurde. Mit dem MCXL-Schnellschleifmodus war die Festigkeit auf dem gleichen Niveau wie der Cerec 3-Normal- und



Schnellschleifmodus. Im Vergleich mit früheren Dreipunktbiegetests (77-123 MPa) von Lüthy et al. (1991a, b), Lüthy (1996) und Bindl et al. (2003) lagen die Biegefestigkeitswerte von Vita Mark II nach MCXL-Formschleifen ( $136 \pm 13$  MPa) deutlich höher. Die Resultate weisen demnach für das MCXL-Gerät in der Bearbeitung von Vita Mark II-Keramik einen eindeutigen Fortschritt der Formschleiftechnik nach. Dieser dürfte auf die gegenüber Cerec 3 robustere Bauweise mit vibrationsärmerem Antrieb und die präzisere Positioniergenauigkeit der Schleifinstrumente zurückzuführen sein.

Die Biegefestigkeit von EmpressCAD-Glaskeramik unterschied sich in keinem der Schleifmodi statistisch von der Vita Mark II-Keramik. Hier lagen jedoch, anders als bei Vita Mark II, die Biegefestigkeitswerte mit dem MCXL-Schnellschleifmodus signifikant tiefer verglichen mit MCXL-Normalschleifmodus, was die Eignung des Schnellschleifmodus bei diesem Material in Frage stellte.

Nach dem Formschleifen von IPSe.maxCAD wurde die Biegefestigkeit mit Werten um 300 MPa gemessen, wobei keine statistischen Unterschiede zwischen Geräten und Schleifmodi auftraten. Diese Werte stimmen mit den Ergebnissen anderer Studien überein (Oh et al. 2000). Möglicherweise wurde eine durch die unterschiedlichen Schleifmodi bedingte Oberflächenschädigung (Hahn & Löst 1991) und die dadurch mögliche Schwächung der Formkörper durch den anschliessenden Sintervorgang mindestens teilweise repariert, was zur Nivellierung der Biegefestigkeitswerte beitrug.

Beim Paradigm MZ100-Block-Komposit verursachten die Schleifmodi auf beiden Formschleifgeräten gleichgerichtete Änderungen der Biegefestigkeit wie bei der Vita Mark II-Keramik. Der MCXL-Normalschleifmodus generierte die höchste Paradigm MZ100-Biegefestigkeit, die beim MCXL-Schnellschleifmodus auf die Paradigm MZ100-Festigkeit im Cerec 3-Normalschleifmodus reduziert wurde. Strukturell ist die Vita Mark II-Keramik als ein Glasmatrixkomposit mit keramischen Füllkörpern zu betrachten (Kelly 2006) während Paradigm MZ100 anorganische Füllkörper in einer organischen Matrix enthält. Möglicherweise resultierten die beobachteten gleichsinnigen Festigkeitsänderungen auf der Basis dieser verwandten Strukturen.

### **5.3 Schlussfolgerungen**

Das computergestützte MCXL-Formschleifen von Feldspat-Blockkeramik erzielte im Normal-Schleifmodus eine signifikante Verkürzung der Formschleifzeit gegenüber Cerec 3 bei gleichzeitig signifikanter Erhöhung der Biegefestigkeit. MCXL Schnell-Schleifen erzielte die gleiche Biegefestigkeit wie Cerec 3-Normalschleifen. Feldspatblockkeramik und Blockkomposit erwiesen sich für das MCXL Formschleifen am besten geeignet. Die Standzeit der Schleifinstrumente war bei MCXL- gegenüber Cerec 3-Formschleifen und speziell beim Schnell-Schleifen in beiden Geräten verringert und bei den Glaskeramiken stark eingeschränkt.

## **6. Literaturverzeichnis**

Arnetzl G.

Different ceramic technologies in a clinical long-term comparison. In: Mörmann WH (Ed). State of the art of CAD/CAM restorations, 20 years of Cerec. Berlin: Quintessence, 2006:65-72.

Baumann MA, Heidemann D.

Biocompatibility of dental inlays ceramics. In: Mörmann WH (Ed): International symposium on computer restorations. Regensdorf-Zurich, Switzerland: Quintessence, 1991:373-376.

Bindl A, Mörmann WH.

Chairside Computer-Krone - Verfahrenszeit und klinische Qualität. Acta Med Dent Helv 1997;2:293-300.

Bindl A, Lüthy H, Mörmann WH.

Fracture load of CAD/CAM-generated slot-inlay FPDs. Int J Prosthodont 2003;16:653-660.

Bindl A, Mörmann WH.

Survival rate of mono-ceramic and ceramic-core CAD/CAM-generated anterior crowns over 2-5 years. Eur J of Oral Sci 2004;112:197-204.

Bindl A, Mörmann WH.

Fit of All-Ceramic Posterior Fixed Partial Denture Frameworks in Vitro. Int J Perio Restorative Dent 2007; 27:567-576.

Christensen RP, Galan RD, Mosher AT.

Clinical status of eleven CAD/CAM materials after one to twelve years of service. In: Mörmann WH (Ed). State of the art of CAD/CAM restorations, 20 years of Cerec. Berlin: Quintessence, 2006:9-18.

Christensen GJ.

The future significance of CAD/CAM for dentistry. In: Mörmann WH (Ed). State of the art of CAD/CAM restorations, 20 years of Cerec. Berlin: Quintessence, 2006:19-28.

Datzmann G.

Cerec Vitablocs Mark II machinable ceramic. In: Mörmann W H (Ed): 10 year Cerec anniversary symposium. Berlin: Quintessence, 1996:205-215.

Furrer O., Mörmann WH.

Effizienz und Kantenqualität beim computertechnischen Formschleifen von Keramikinlays. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1993;103:851-859.

Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV.

Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. Dent Mater 2004;20:441-448.

Hahn R, Löst C.

Grinding of ceramic materials. In: Mörmann WH (Ed): International symposium on computer restorations: Regensdorf-Zurich, Switzerland: Quintessence, 1991:623-631.

Kelly JR.

Machinable ceramics. In: Mörmann WH (Ed): State of the Art of CAD/CAM restorations, 20 years of CEREC. Berlin:Quintessence, 2006:29-37.

Kelly JR, Lüthy H, Gougoulakis A, Pober RL, Mörmann WH.

Machining effects on feldspathic porcelain and glass ceramic: Fractographic analysis. In: Mörmann WH (Ed): International symposium on computer restorations. Regensdorf-Zurich, Switzerland: Quintessence, 1991:253-271.

Kern M.

Clinical performance of all-ceramic restorations. In: Mörmann WH (Ed). State of the art of CAD/CAM restorations, 20 years of Cerec. Berlin: Quintessence, 2006:47-56.

Krejci I, Lutz F, Reimer M.

Wear of CAD/CAM ceramic inlays. Restorations, opposing cusps and luting cements. Quintessence Int 1994;25:199-207.

Lampe K, Lüthy H, Mörmann WH.

Fracture load of all-ceramic computer crowns. In: Mörmann WH (Ed): 10 year Cerec anniversary symposium. Berlin: Quintessence, 1996:463-482.

Lüthy H.

Strength and toughness of dental ceramic. In: Mörmann WH (Ed): 10 year Cerec anniversary symposium. Berlin: Quintessence, 1996:229-239.

Lüthy H, Besek M, Mörmann WH.

Influence of surface treatments on flexure strength of computer machined ceramics. In: Mörmann WH (Ed): International symposium on computer restorations. Regensdorf-Zurich, Switzerland: Quintessence, 1991a:613-621.

Lüthy H, Gougoulakis A, Löffel, Mörmann WH.

Flexure strength of computer machined ceramics. In: Mörmann WH (Ed): International symposium on computer restorations. Regensdorf-Zurich, Switzerland: Quintessence, 1991b:603-611.

Mörmann WH.

The evolution of the CEREC System. J Am Dent Assoc 2006;137, Suppl 7-13.

Mörmann WH, Brandestini M.

Die Cerec Computer Reconstruction, Inlays, Onlays and Veneers. Berlin: Quintessenz, 1989.

Mörmann WH, Schug J.

Grinding precision and accuracy of fit of Cerec 2 CAD/CAM inlays. J Am Dent Assoc 1997;128:47-53.

Mörmann WH, Bindl A.

The Cerec 3 – A quantum leap for computer-aided restorations: Initial clinical results. Quintessence Int 2000; 31:699-712.

Morin MR.

Preparation, fabrication and 3D scanning to achieve esthetic results with chairside CAD/CAM technology. In: Mörmann WH (Ed). State of the art of CAD/CAM restorations, 20 years of Cerec. Berlin: Quintessence, 2006:89-92.

Oh SC, Dong JK, Lüthy H, Schärer P.

Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different treatments. Int J Prosthodont 2000;6:468-472.

Rekow D, Thompson V P.

Near-surface damage - a persistent problem in crowns obtained by computer-aided design and manufacturing. Proc IMechE Vol 219 Part H: J Engineering in Medicine 2005;4: Spec Iss 233-243.

Thoma K.

Schleifeffizienz und Kantengenauigkeit bei Cerec 3 Inlays, Overlays und Kronen, Med Diss Zürich 2001.

Reiss B.

Clinical results of Cerec inlays in a dental practice over a period of 18 years. Int J Comput Dent 2006;9:11-22.